

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Best Available Copy

Aktenzeichen: 103 39 983.6

Anmeldetag: 29. August 2003

Anmelder/Inhaber: Osram Opto Semiconductors GmbH,
93049 Regensburg/DE

Bezeichnung: Strahlungemittierendes Halbleiterbauelement

IPC: H 01 S, H 01 L

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 11. Oktober 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Schmidt C.

Beschreibung

Strahlungemittierendes Halbleiterbauelement

5 Die Erfindung betrifft ein strahlungemittierendes Halbleiterbauelement mit einem Halbleiterkörper, der eine erste Hauptfläche, eine zweite Hauptfläche und eine Halbleiterschichtenfolge mit einer elektromagnetische Strahlung erzeugenden aktiven Zone umfasst, wobei die Halbleiterschichtenfolge zwischen der ersten und der zweiten Hauptfläche angeordnet ist. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines solchen strahlungemittierenden Halbleiterbauelements.

15 Der interne Umwandlungswirkungsgrad von elektrischer Energie in Strahlungsenergie ist bei strahlungemittierenden Halbleiterbauelementen meist deutlich höher als der Gesamtwirkungsgrad. Dafür ist im wesentlichen der geringe Auskoppelwirkungsgrad der in der aktiven Zone erzeugten Strahlung aus dem Halbleiterbauelement verantwortlich. Dies hat verschiedene Ursachen. Häufig ist eine großflächige Stromeinbringung in die Halbleiterschichtenfolge erwünscht, was zum Beispiel mittels großflächiger metallischer Kontaktstrukturen möglich ist. Derartige Kontaktstrukturen sind jedoch meist für die erzeugte Strahlung nicht durchlässig und führen zu einer hohen Absorption der erzeugten Strahlung.

Auch bei kleinflächigen, den Halbleiterkörper nicht vollständig bedeckenden, Kontaktstrukturen gibt es Wege, den Strom großflächig einzubringen. Hierzu kann das strahlungemittierende Halbleiterbauelement beispielsweise sogenannte Stromaufweitungsschichten umfassen, die für eine homogene Stromeinbringung in die aktive Zone sorgen. Dies kann einerseits durch in der Halbleiterschichtenfolge angeordnete Schichten aus dotiertem Halbleitermaterial erreicht werden. Derartige Schichten müssen allerdings relativ dick sein, um eine homogene Stromeinbringung in die aktive Zone gewährleisten zu

können. Je dicker aber die Halbleiterschicht ist, desto länger ist die für die Herstellung der Schichtenfolge benötigte Zeit. Ferner steigt mit der Schichtdicke die Absorption freier Ladungsträger und/oder der erzeugten Strahlung in diesen
5 Schichten, was zu einem geringen Gesamtwirkungsgrad führt.

Weiterhin ist aus JP 2000-353820 ein Bauelement bekannt, das eine für die erzeugte Strahlung durchlässige Stromaufweitungsschicht besitzt. Diese enthält ZnO, welches zur Materialklasse der TCOs (Transparent Conducting Oxides) gehört.
10 Neben ZnO wird aus dieser Klasse auch ITO (Indium Tin Oxide) häufig zur Stromaufweitung benutzt.

Der Auskoppelwirkungsgrad wird ferner durch die Totalreflexion von in der aktiven Zone erzeugter Strahlung an Grenzflächen begrenzt, was in den unterschiedlichen Brechungsindizes des Halbleitermaterials und des Umgebungsmaterials begründet ist. Die Totalreflexion kann durch eine geeignete Strukturierung der Grenzflächen gestört werden. Daraus resultiert ein
15 höherer Auskoppelwirkungsgrad.
20

Auch die Absorption der Strahlung in einem Substrat oder einem Träger, auf dem die Halbleiterschichtenfolge aufgewachsen oder das strahlungsemitierende Halbleiterbauelement befestigt ist, stellt eine der Ursachen für einen geringen Auskoppelwirkungsgrad dar.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement der eingangs genannten Art mit
30 einem erhöhten Gesamtwirkungsgrad zu entwickeln. Weiterhin soll ein Verfahren zur Herstellung strahlungsemitierender Halbleiterbauelemente mit erhöhtem Gesamtwirkungsgrad angegeben werden.

35 Diese Aufgabe wird durch ein strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement mit den Merkmalen des Anspruchs 1 beziehungsweise ein Verfahren zur Herstellung strahlungsemitierender

Halbleiterbauelemente gemäß Anspruch 34 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

- 5 Ein strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement gemäß der vorliegenden Erfindung weist einen Halbleiterkörper auf, umfassend eine erste Hauptfläche, eine zweite Hauptfläche und eine Halbleiterschichtenfolge mit einer elektromagnetischen Strahlung erzeugenden aktiven Zone, wobei die Halbleiterschichtenfolge zwischen der ersten und der zweiten Hauptfläche angeordnet ist, eine erste Stromaufweitungsschicht auf der ersten Hauptfläche angeordnet und mit der Halbleiterschichtenfolge elektrisch leitend verbunden ist sowie eine zweite Stromaufweitungsschicht auf der zweiten Hauptfläche
10 angeordnet und mit der Halbleiterschichtenfolge elektrisch leitend verbunden ist.

- Mindestens eine dieser Stromaufweitungsschichten enthält bevorzugt auch elektrisch leitfähige Materialien, welche für
20 die erzeugte Strahlung durchlässig sind. Besonders bevorzugt enthalten beide Stromaufweitungsschichten derartige Materialien, insbesondere strahlungsdurchlässige leitfähige Oxide, bevorzugt Metalloxide, wie beispielsweise ZnO, InO und/oder SnO oder auch Oxide mit zwei oder mehr metallischen Bestandteilen, wie ITO. Stromaufweitungsschichten aus diesen Materialien sind besonders geeignet, da sie unter anderem einen geringen Schichtwiderstand besitzen, der einen homogenen Stromeintrag in die Halbleiterschichtenfolge gewährleistet. Weiterhin weisen sie große Wellenlängenbereiche hoher Transmission auf. Die Widerstände liegen vorteilhafterweise unter
30 $200 \Omega\text{cm}^2$, wobei Werte von weniger als $30 \Omega\text{cm}^2$ besonders bevorzugt sind.

- Die Dicken der Stromaufweitungsschichten sind bei der Erfindung so gewählt, dass ein homogener Stromeintrag in die Halbleiterschichtenfolge bewirkt wird. Dies wird mit Schichtdick-
35

ken von 10nm bis zu 1000nm, besonders bevorzugt von 200nm bis 800nm, erreicht.

5 Mit Vorteil enthält mindestens eine der strahlungsdurchlässigen leitfähigen Stromaufweitungsschichten Al, Ga, In, Ce, Sb und/oder F als Dotierstoff(e), um den Schichtwiderstand der Stromaufweitungsschichten zu verringern. Besonders bevorzugt enthält die erste Stromaufweitungsschicht ZnO und ist mit Al
10 dotiert, und die zweite Stromaufweitungsschicht SnO und ist mit Sb dotiert.

Die Stromaufweitungsschichten können beispielsweise durch Sputtern, insbesondere DC-Sputtern, aufgebracht werden, wobei die Prozessparameter so gewählt sind, dass ein elektrischer
15 Kontakt zwischen der Stromaufweitungsschicht und den angrenzenden Halbleiterschichten gebildet wird, der einen homogenen Stromeintrag in die Halbleiterschichtenfolge und somit in die aktive Zone ermöglicht. Der elektrische Kontakt zwischen diesen Schichten kann zum Beispiel durch Sintern oder geeignete
20 Vorreinigung der entsprechenden Oberflächen der beteiligten Schichten noch verbessert werden. Durch die Gegenwart zweier Stromaufweitungsschichten wird der Strom auf beiden Seiten der Halbleiterschichtenfolge sehr homogen eingebracht und es entsteht eine aktive Zone hoher Güte, die sich durch eine gleichmäßig verteilte Strahlungserzeugung und eine vorteilhaft geringe Absorption auszeichnet.

In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist auf mindestens einer der Stromaufweitungsschichten eine Spiegel-
30 schicht angeordnet, die bevorzugt elektrisch leitend ist und weitergehend eine hohe Reflektivität für die in der aktiven Zone erzeugte Strahlung aufweist.

Durch die Spiegelschicht werden Absorptionsverluste in eventuell unter dieser angeordneten Schichten, wie zum Beispiel
35 einem Substrat oder einem Träger, verringert und sie bildet zusammen mit der Stromaufweitungsschicht einen hocheffizien-

ten elektrischen Spiegelkontakt zur Kontaktierung des Halbleiterbauelements. Die Spiegelschicht enthält vorzugsweise ein Metall, vorteilhafterweise Au, Ag, Al und/oder Pt. Besonders bevorzugt ist die Spiegelschicht auf der der Halbleiterschichtenfolge abgewandten Seite der Stromaufweitungsschicht auf der ersten Hauptfläche angeordnet. Die Spiegelschicht kann beispielsweise durch Aufdampfen oder Sputtern aufgebracht werden.

10 In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung weist mindestens eine Hauptfläche der Halbleiterschichtenfolge eine Mikrostruktur auf, die vor dem Aufbringen der Stromaufweitungsschicht in oder auf die entsprechende Hauptfläche ein- beziehungsweise aufgebracht wurde. Die Mikrostruktur ist
15 dabei so geartet, dass die strukturierte Fläche im Gegensatz zur unstrukturierten einen höheren Auskoppelwirkungsgrad aufgrund einer gestörten Totalreflexion von auf diese Fläche einfallenden Strahlen, die in der aktiven Zone erzeugt wurden, aufweist. Damit wird die Strahlungsauskopplung und somit
20 der Gesamtwirkungsgrad des strahlungsemittierenden Halbleiterbauelementes erhöht. Solche Mikrostrukturen können beispielsweise durch Aufrauungsverfahren wie ein Ätz- oder Schleifverfahren erzeugt werden. Weiterhin kann eine solche Mikrostruktur dadurch erzeugt werden, dass ein metallisches Maskenmaterial
25 auf die zu strukturierende Fläche aufgebracht wird, dessen Benetzungseigenschaften so beschaffen sind, dass sich auf der Oberfläche kleine vorzugsweise zumindest teilweise vernetzte metallische Inseln bilden. Diese Inselstruktur kann mittels eines Trockenätzverfahrens in die zu strukturierende Fläche
30 übertragen werden, wonach das Maskenmaterial durch geeignete Verfahren entfernt werden kann. Mit Vorzug weist die Hauptfläche auf der der Spiegelschicht abgewandten Seite der Halbleiterschichtenfolge eine Mikrostruktur auf.

35 Bei einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung besitzt die Halbleiterschichtenfolge mindestens eine n- und eine p-leitende Schicht. Die Dicken der n- und/oder p-leitenden

Schichten liegen typischerweise zwischen einer Monolage und 1000 nm. Bevorzugt ist die Dicke mindestens einer oder beider dieser Schichten kleiner als 400 nm, und liegt besonders bevorzugt zwischen 150 nm und 350 nm. Bei herkömmlichen Bauelementen dienen die um die aktive Zone angeordneten n- und/oder p-leitenden Schichten oftmals auch der Stromaufweitung und besitzen daher eine relativ große Dicke.

Bei der Erfindung hingegen erfolgt die Stromaufweitung in den außerhalb des Halbleiterkörpers angeordneten Stromaufweitungsschichten. Deshalb können die Schichten der Halbleiterschichtenfolge vergleichsweise dünn ausgeführt sein.

Die Halbleiterschichtenfolge mit den n- und p-leitenden Schichten und einer Strahlung erzeugenden aktiven Zone wird bevorzugt durch epitaktisches Aufwachsen auf einem Substrat, beispielsweise einem GaAs Substrat, hergestellt. Die Stromaufweitungsschichten werden vorzugsweise nach der Epitaxiephase zum Beispiel durch Sputtern aufgebracht.

Bevorzugt enthält die Halbleiterschichtenfolge einen III-V-Halbleiter, wie beispielsweise $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{P}$, mit $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ und $x+y \leq 1$, $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{N}$, mit $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ und $x+y \leq 1$, oder $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{As}$, mit $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ und $x+y \leq 1$.

Mit besonderem Vorteil enthält die Stromaufweitungsschicht, die auf der p-leitenden Seite der Halbleiterschichtenfolge angeordnet ist, ZnO, bevorzugt mit Al dotiert, und jene, die auf der n-leitenden Seite angeordnet ist SnO, bevorzugt mit Sb dotiert. Sn beispielsweise kann bei III-V-Halbleitern im n-leitenden Bereich zugleich als Dotierstoff eingesetzt werden. Eine Diffusion von Sn-Atomen aus einer SnO enthaltenden Stromaufweitungsschicht in eine angrenzende n-leitende Schicht erhöht daher die Majoritätsladungsträgerkonzentration in der n-leitenden Schicht. Insbesondere gilt dies an der Grenzfläche der beiden Schichten. Daher wird der leitende Kontakt zwischen solchen Schichten und damit die Stromein-

bringung in die aktive Zone verbessert. Entsprechendes gilt für Zn als Akzeptor im Bezug auf p-leitende Schichten.

Eine Halbleiterschichtenfolge mit derartig vorteilhaft geringen Schichtdicken wirkt sich in vielerlei Hinsicht positiv auf die Funktionsweise des strahlungsemitierenden Halbleiterbauelementes aus. So werden beispielsweise die Absorption freier Ladungsträger, die Absorption der erzeugten Strahlung und die zur Herstellung derartiger Bauelemente benötigten Epitaxiezeiten wesentlich verringert, wodurch der Auskoppelwirkungsgrad des strahlungsemitierenden Halbleiterbauelementes erhöht, die Herstellungszeiten der Halbleiterschichtenfolge verkürzt und deren Herstellungskosten verringert werden.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die Halbleiterschichtenfolge epitaktisch auf einem Substrat aufgewachsen, das nach dem Epitaxieprozess durch geeignete Maßnahmen, zum Beispiel eine mechanische Belastung oder einen Ätzzvorgang, entfernt wurde. Die Halbleiterschichtenfolge ist über die erste Hauptfläche mit einem Träger, zum Beispiel aus GaAs, verbunden. Die Verbindung ist vorzugsweise elektrisch leitend und kann mittels einer Lotmetallisierung erfolgen. Zwischen dem Träger und der ersten Hauptfläche ist eine Stromaufweitungsschicht angeordnet, auf deren der Halbleiterschichtenfolge abgewandten Seite sich eine Spiegelschicht befindet. Die zwei folgenden vorteilhaften Weiterbildungen basieren hierauf.

In einer ersten vorteilhaften Weiterbildung der obigen Ausgestaltung weist die weiter vom Träger entfernte zweite Hauptfläche eine Mikrostruktur auf, die die Totalreflexion von auf diese Fläche einfallenden Strahlen stört. Auf dieser Hauptfläche ist eine weitere Stromaufweitungsschicht angeordnet, der eine Kontaktfläche zur elektrischen Kontaktierung des Halbleiterbauelementes nachgeordnet ist. Die Kontaktfläche hat vorzugsweise eine geringere laterale Ausdehnung als die Halbleiterschichtenfolge und/oder die Stromaufweitungsschicht.

ten. Des weiteren kann sie auch auf der der Halbleiterschichtenfolge zugewandten Seite eine die in der aktiven Zone erzeugte Strahlung reflektierende Schicht besitzen oder selbst reflektierend sein. Mittels der Stromaufweitungsschichten wird der über die Kontaktfläche injizierte Strom lateral homogen verteilt und großflächig in die aktive Zone eingebracht. Dadurch wird eine nachteilig vermehrte Strahlungserzeugung in dem unter der absorbierenden Kontaktfläche liegenden Bereich der aktiven Zone vermieden. In der Folge wird so die Absorption der erzeugten Strahlung in der Kontaktfläche durch die reflektierende Schicht vermindert und damit der Auskoppelwirkungsgrad des Bauelements erhöht.

In einer zweiten vorteilhaften Weiterbildung der obigen Ausgestaltung weist die weiter vom Träger entfernte zweite Hauptfläche eine Mikrostruktur auf. Dieser nachgeordnet ist eine für die erzeugte Strahlung durchlässige Mantelschicht oder eine Mantelschichtenfolge, die aus mehreren Schichten besteht und mit der zweiten Stromaufweitungsschicht versehen ist. Diese Stromaufweitungsschicht besitzt hierbei mindestens eine Ausnehmung oder ein Fenster, dergestalt dass die Mantelschichtenfolge im Bereich der Ausnehmung oder des Fensters nicht von der Stromaufweitungsschicht bedeckt ist. Die Ausnehmung wird von einer Kontaktfläche zur elektrischen Kontaktierung zumindest teilweise ausgefüllt, die sich mit der Mantelschichtenfolge und der Stromaufweitungsschicht in Kontakt befindet.

Die Kontaktfläche ist vorteilhafterweise metallisch und hat bezüglich des Übergangs zur Mantelschichtenfolge im Falle einer in Vorwärtsrichtung anliegenden Spannung eine so hohe Potentialbarriere (z.B. eine Schottky-Barriere), dass nahezu der ganze Strom von der Kontaktfläche in die lateral angrenzende Stromaufweitungsschicht und von dort über die Mantelschicht in die aktive Zone eintritt. Dadurch gelangt nur ein geringer Stromanteil in den Bereich der aktiven Zone, der unter der Kontaktfläche liegt, und es wird in diesem Bereich

nur eine verglichen mit der restlichen aktiven Zone geringe Strahlung erzeugt. Daher wird die Absorption der erzeugten Strahlung in der Kontaktfläche verringert. Weitergehend kann eine Mikrostruktur oder eine Mantelschicht(enfolge) der oben genannten Art auch auf der dem Träger zugewandten Seite der Halbleiterschichtenfolge ausgebildet sein.

Ein erfindungsgemäßen Herstellungsverfahren für ein strahlungsgemittierendes Halbleiterbauelement mit einem Halbleiterkörper, der eine erste Hauptfläche, eine zweite Hauptfläche und eine Halbleiterschichtenfolge mit einer elektromagnetische Strahlung erzeugenden aktiven Zone umfasst, wobei die Halbleiterschichtenfolge zwischen der ersten und der zweiten Hauptfläche angeordnet ist, weist folgende Schritte auf:

15

- Aufwachsen der Halbleiterschichtenfolge auf einem Substrat;
- Aufbringen einer strahlungsdurchlässigen Stromaufweitungsschicht auf die erste Hauptfläche;
- 20 - Ablösen des Substrats;
- Aufbringen einer strahlungsdurchlässigen Stromaufweitungsschicht auf die zweite Hauptfläche.

Die Aufzählung der Schritte ist hierbei nicht als Festlegung auf eine bestimmte Reihenfolge zu verstehen.

Bevorzugt wird die Halbleiterschichtenfolge epitaktisch aufgewachsen. Das Substrat kann mittels eines geeigneten Verfahrens, wie zum Beispiel eines Ätzprozesses oder mechanischer Belastung, entfernt werden. Die Stromaufweitungsschichten enthalten bevorzugt ein TCO, besonders bevorzugt ZnO und/oder SnO.

Zur Verminderung des Schichtwiderstandes ist es vorteilhaft, mindestens eine Stromaufweitungsschicht mit Al, Ga, In, Ce, Sb und/oder F zu dotieren.

Weitere Ausgestaltungen des dargestellten Verfahrens ergeben sich durch die nachfolgend beschriebenen Schritte, die an geeigneter Stelle in obiges Verfahren eingegliedert werden können. Insbesondere können dabei auch manche Schritte auf beiden Seiten der Halbleiterschichtenfolge durchgeführt werden.

In einer bevorzugten Ausgestaltung des Verfahrens wird auf die Stromaufweitungsschicht auf der ersten Hauptfläche eine Spiegelschicht, die bevorzugt Au, Ag, Al, und/oder Pt enthält, aufgebracht.

Der Halbleiterkörper kann nachfolgend, vorzugsweise über die Spiegelschicht, auf einem Träger befestigt werden, wobei die Befestigung bevorzugt mittels einer Lotmetallisierung erfolgt.

Weiterhin kann mindestens eine Hauptfläche mit einer Mikrostruktur zur Störung der Totalreflexion von der in der aktiven Zone erzeugten Strahlung an dieser Hauptfläche versehen werden.

Ferner wird in einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung des Verfahrens eine Mantelschicht oder eine Mantelschichtenfolge, die zwischen einer Stromaufweitungsschicht und der Halbleiterschichtenfolge angeordnet ist, aufgebracht. In die der Mantelschicht nächstliegende Stromaufweitungsschicht kann eine Ausnehmung eingebracht werden, die mit Vorzug zumindest teilweise von einer Kontaktfläche zur elektrischen Kontaktierung des strahlungsemitternden Halbleiterbauelements ausgefüllt wird. Die Ausnehmung wird bevorzugt so gebildet, dass die Stromaufweitungsschicht in dem Bereich der Ausnehmung vollständig entfernt ist.

Ist keine Ausnehmung vorgesehen, kann eine Kontaktfläche auf die weiter vom Träger entfernte Stromaufweitungsschicht aufgebracht werden.

Besonders bevorzugt wird das dargestellte Verfahren zur Herstellung der im Anspruch 1 und den abhängigen Ansprüchen beschriebenen Halbleiterbauelemente benutzt.

- 5 Weitere Merkmale, Vorteile und Zweckmäßigkeiten der Erfindung ergeben sich aus den Beschreibungen der folgenden Ausführungsbeispiele in Verbindung mit den folgenden Figuren.

10 Figur 1 zeigt eine schematische Schnittansicht eines ersten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen strahlungsemittierenden Halbleiterbauelements;

15 Figur 2 zeigt eine schematische Schnittansicht eines zweiten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen strahlungsemittierenden Halbleiterbauelements;

20 Figur 3 zeigt eine schematische Schnittansicht eines dritten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen strahlungsemittierenden Halbleiterbauelements;

Figur 4 zeigt in den Figuren 4A bis 4D eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines strahlungsemittierenden Halbleiterbauelements, anhand von vier Zwischenschritten.

Gleichartige und gleich wirkende Elemente besitzen in den Figuren gleiche Bezugszeichen.

- 30 In Figur 1 ist eine schematische Schnittansicht eines ersten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen strahlungsemittierenden Halbleiterbauelements dargestellt. Auf einem GaAs-Träger 1 ist eine Spiegelschicht 2 aus Au und auf dieser eine erste Stromaufweitungsschicht 3 angeordnet, die ZnO und Al,
 35 zum Beispiel in der Zusammensetzung $\text{Al}_{0,02}\text{Zn}_{0,98}\text{O}$, enthält. Diesen Schichten nachgeordnet ist ein Halbleiterkörper mit einer Halbleiterschichtenfolge 4, welche $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{P}$ mit

0 ≤ x ≤ 1, 0 ≤ y ≤ 1 und x + y ≤ 1 enthält. Die Halbleiterschichtenfolge 4 weist eine erste Hauptfläche 5, eine oder mehreren Halbleiterschichten eines ersten Leitungstyps 6, eine Strahlung erzeugenden aktiven Zone 7, eine oder mehreren Halbleiterschichten eines zweiten Leitungstyps 8 und eine zweite Hauptfläche 9 auf. Auf der zweiten Hauptfläche 9 ist eine zweite Stromaufweitungsschicht 10 angeordnet, die SnO und Sb zum Beispiel in der Zusammensetzung $Sb_{0,2}Sn_{0,98}O$ enthält. Die Schichten 6 und 8 sind p- beziehungsweise n-leitend und weisen eine jeweilige Gesamtschichtdicke von beispielsweise 200nm auf.

Die Halbleiterschichtenfolge 4 ist durch Epitaxie auf einem Aufwachssubstrat aus GaAs hergestellt, das nach dem Aufbringen der Spiegelschicht 2 abgelöst wurde. Die Kombination aus der Spiegelschicht 2 und der Stromaufweitungsschicht 3 dient als hocheffizienter Spiegelkontakt zur homogenen Stromeinbringung in die Halbleiterschichtenfolge 4. Dadurch wird die Absorption der Strahlung in dem Träger 1 verringert und in Kombination mit der zweiten Stromaufweitungsschicht 10 auf der zweiten Hauptfläche 9 ein sehr homogener Stromeintrag über beide Hauptflächen 5 und 9 in die Halbleiterschichtenfolge 4 und besonders in die aktive Zone 7 gewährleistet. Es entsteht somit eine aktive Zone 7 hoher Güte, in der lateral gleichmäßig Strahlung erzeugt wird.

Die geringen Schichtdicken der Halbleiterschichtenfolgen 6 und 8 erlauben einen kürzeren Herstellungsprozess des Halbleiterkörpers und verringern die Absorption freier Ladungsträger sowie der erzeugten Strahlung in diesen Schichten. Die Schichtdicken sind nach unten dadurch begrenzt, dass sie eine Diffusion von Fremdatomen aus den angrenzenden Stromaufweitungsschichten in die aktive Zone verhindern sollen, ihre Dicke groß genug für eine mögliche Ein- oder Aufbringung einer Mikrostruktur ist und/oder die Ladungsträger möglichst lange in der aktiven Zone verweilen.

Die Kombination aus zwei Stromaufweitungsschichten 3 und 10 bewirkt eine Erhöhung des Gesamtwirkungsgrades, der durch die Spiegelschicht 2 und die dünnen Schichten verschiedener Leitungstypen 6 und 8 noch weiter gesteigert wird.

5

Figur 2 zeigt eine schematische Schnittansicht eines zweiten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen strahlungsemitierenden Halbleiterbauelements, das im wesentlichen mit dem in Figur 1 skizzierten Aufbau übereinstimmt. Im Unterschied dazu ist die Spiegelschicht 2 über eine Lotmetallisierung 11 auf dem Träger befestigt und so mit diesem elektrisch leitend verbunden. Weiterhin ist die zweite Hauptfläche 9 mit einer Mikrostruktur 12 versehen, die beispielsweise mittels des oben erwähnten Verfahrens mit einer metallischen Maskenschicht hergestellt wurde. Dies stört die Totalreflexion und erhöht damit den Auskoppelwirkungsgrad.

10

15

20

25

30

Ferner ist auf der zweiten Stromaufweitungsschicht 10 eine Kontaktfläche 13 zur elektrischen Kontaktierung angeordnet, die auf ihrer der Halbleiterschichtenfolge 4 zugewandten Seite bezüglich der in der aktiven Zone 7 reflektierend sein kann, was nicht explizit gezeigt ist. Die Kontaktfläche 13 hat eine geringere laterale Ausdehnung als die Stromaufweitungsschichten 3, 10 und/oder die Halbleiterschichtenfolge 4. Die Absorption der erzeugten Strahlung in der Kontaktfläche 13 wird so reduziert, da eine vermehrte Strahlungserzeugung in dem Bereich der aktiven Zone 7, der von der absorbierenden Kontaktfläche 13 abgeschattet wird, vermieden wird. Eine Verspiegelung der Unterseite der Kontaktfläche 13 trägt weiter zur Verminderung der Absorption in der Kontaktfläche 13 bei. Insgesamt wird also der Auskoppelwirkungsgrad im Gegensatz zu dem in Figur 1 dargestellten Ausführungsbeispiel weiter erhöht.

35

In Figur 3 ist eine schematische Schnittansicht eines dritten Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen strahlungsemitierenden Halbleiterbauelements dargestellt. Der prinzipielle

- Aufbau entspricht wieder dem in Figur 2 gezeigten. Im Unterschied hierzu ist zwischen der Stromaufweitungsschicht 10 und der zweiten Hauptfläche 9 eine Mantelschicht 14 angeordnet. Zudem erfolgt die elektrische Kontaktierung durch eine Kontaktfläche 13, die in einer Ausnehmung 15 der Stromaufweitungsschicht 10 angeordnet ist und mit der Stromaufweitungsschicht 10 und der elektrisch leitenden Mantelschicht 14 in unmittelbarem Kontakt steht. Die elektrischen Kontakte zwischen diesen Schichten sind so hergestellt, dass der Strom von der Kontaktfläche 13 aus hauptsächlich über die Stromaufweitungsschicht 10 und nachfolgend die Mantelschicht 14 in die Halbleiterschichtenfolge 4 und die aktive Zone 7 gelangt. Der Kontakt zwischen der Mantelschicht 14 und der Kontaktfläche 13 weist hierbei eine ausreichend hohe Potentialbarriere (zum Beispiel eine Schottky-Barriere) auf, die verhindert, dass der Strom direkt von der Kontaktfläche 13 über die Mantelschicht 14 in die Halbleiterschichtenfolge 4 gelangt oder einen Stromfluß über diesen Pfad zumindest reduziert.
- Die Mantelschicht 14 ist vorzugsweise für die erzeugte Strahlung durchlässig und enthält beispielsweise $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-x-y}$ mit $0 \leq x \leq 1$ und $0 \leq y \leq 1$. Eine derartige Kontaktierung bewirkt, dass verglichen mit dem in Figur 2 dargestellten Ausführungsbeispiel ein geringerer Stromanteil in den Bereich der aktiven Zone 7 injiziert wird, der von der Kontaktfläche 13 abgeschattet wird. Damit wird in diesem Bereich eine vergleichsweise geringe Strahlungsleistung erzeugt, so dass in der Kontaktfläche 13 nur eine entsprechend geringe Strahlungsmenge absorbiert wird. Verglichen mit dem in Figur 2 dargestellten Gegenstand wird hiermit der Auskoppelwirkungsgrad weiter erhöht.

In den Figuren 4a bis 4d ist eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines strahlungsemitierenden Halbleiterbauelements mit hohem Gesamtwirkungsgrad anhand von vier Zwischenschritten gezeigt.

In Figur 4a ist eine Halbleiterschichtenfolge 4 dargestellt, die epitaktisch auf einem Substrat 16, beispielsweise aus GaAs, aufgewachsen wurde. Die Halbleiterschichtenfolge 4 bildet einen Halbleiterkörper, der eine erste Hauptfläche 5, eine Schicht eines ersten Leitungstyps 6 (z.B. p-leitend), eine elektromagnetische Strahlung erzeugende aktive Zone 7, eine Schicht eines zweiten Leitungstyps 8 (z.B. n-leitend) und eine zweite Hauptfläche 9 umfasst. Die Dicken der Schichten 6 und 8 betragen jeweils 200nm. Die Halbleiterschichtenfolge 4 basiert beispielsweise auf $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{P}$ mit $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ und $x+y \leq 1$.

In Figur 4b wird auf die erste Hauptfläche 5 eine Stromaufweitungsschicht 3 aus $\text{Al}_{0,02}\text{Zn}_{0,98}\text{O}$ aufgesputtert. Diese wird durch Aufdampfen oder Sputtern mit einer Spiegelschicht 2 aus Au versehen. Nachfolgend wird das Substrat 16 entfernt und die Spiegelschicht 2 wie in Figur 4c gezeigt mittels einer Lotmetallisierung 11 auf einem Träger 1 aus vorzugsweise GaAs befestigt, mit dem die Spiegelschicht 2 dadurch elektrisch leitend verbunden ist. Ferner wird in die zweite Hauptfläche 9, die jetzt nicht mehr mit dem Substrat 16 verbunden ist, auf geeignete Weise eine Mikrostruktur 12 auf- oder eingebracht, die die Totalreflexion an dieser Fläche stört.

Nachfolgend wird auf die Hauptfläche 9 mit der Mikrostruktur 12 eine weitere Stromaufweitungsschicht 10, die $\text{Sb}_{0,02}\text{Sn}_{0,98}\text{O}$ enthält, gesputtert, welche in Figur 4d in einem letzten Verfahrensschritt mit einer Kontaktfläche 13 zur elektrischen Kontaktierung des strahlungsemittierenden Halbleiterbauelements versehen wird.

Die Beschreibung der Erfindung anhand der Ausführungsbeispiele ist nicht als eine Beschränkung der Erfindung auf diese anzusehen. Vielmehr umfasst die Erfindung alle Kombinationen von Merkmalen, die in den Ausführungsbeispielen, der sonstigen Beschreibung oder den Patentansprüchen genannt sind, auch

wenn diese Kombinationen nicht Gegenstand eines Patentanspruchs sind.

Patentansprüche

1. Strahlungemittierendes Halbleiterbauelement mit einem Halbleiterkörper, umfassend eine erste Hauptfläche (5), eine
5 zweite Hauptfläche (9) und eine Halbleiterschichtenfolge (4) mit einer elektromagnetische Strahlung erzeugenden aktiven Zone (7), wobei die Halbleiterschichtenfolge (4) zwischen der ersten und der zweiten Hauptfläche (5,9) angeordnet ist, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
- 10 - dass eine erste Stromaufweitungsschicht (3) auf der ersten Hauptfläche (5) angeordnet und mit der Halbleiterschichtenfolge (4) elektrisch leitend verbunden ist;
- dass eine zweite Stromaufweitungsschicht (10) auf der
15 zweiten Hauptfläche (9) angeordnet und mit der Halbleiterschichtenfolge (4) elektrisch leitend verbunden ist;
2. Strahlungemittierendes Halbleiterbauelement nach Anspruch 1,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
20 mindestens eine der beiden Hauptflächen (5,9) mit den Stromaufweitungsschichten (3,10) eine Mikrostruktur (12) aufweist
3. Strahlungemittierendes Halbleiterbauelement nach Anspruch 1 oder 2,
25 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
mindestens eine der Stromaufweitungsschichten (3,10) ein für die erzeugte Strahlung durchlässiges Material enthält.
4. Strahlungemittierendes Halbleiterbauelement nach einem der
30 Ansprüche 1 bis 3,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
beide Stromaufweitungsschichten (3,10) ein für die erzeugte Strahlung durchlässiges Material enthalten.
- 35 5. Strahlungemittierendes Halbleiterbauelement nach Anspruch 3 oder 4,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass

dieses strahlungsdurchlässige Material ein Oxid enthält.

6. Strahlungsemitterendes Halbleiterbauelement nach Anspruch 5,

5 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
das Oxid ein Metalloxid ist

7. Strahlungsemitterendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 3 bis 6,

10 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
das strahlungsdurchlässige Material ITO und/oder InO enthält.

8. Strahlungsemitterendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 3 bis 6,

15 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
das strahlungsdurchlässige Material ZnO enthält.

9. Strahlungsemitterendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 3 bis 6,

20 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
das strahlungsdurchlässige Material SnO enthält.

10. Strahlungsemitterendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 9,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
mindestens eine der Stromaufweitungsschichten (3,10) Al, Ga, In, Ce, Sb und/oder F enthält.

11. Strahlungsemitterendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 10,

30 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
auf mindestens einer der Stromaufweitungsschichten (3,10) eine Spiegelschicht (2) angeordnet ist.

12. Strahlungsemitterendes Halbleiterbauelement nach Anspruch 11,

35 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass

die Spiegelschicht (2) auf der der Halbleiterschichtenfolge (4) abgewandten Seite der Stromaufweitungsschicht (3) angeordnet ist.

- 5 13. Strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement nach Anspruch 11 oder 12,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Spiegelschicht (2) elektrisch leitend ist.
- 10 14. Strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 11 bis 13,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Spiegelschicht (2) ein Metall enthält.
- 15 15. Strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 11 bis 14,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Spiegelschicht (2) Au, Ag, Al und/oder Pt enthält.
- 20 16. Strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 11 bis 15,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Hauptfläche (9) auf der der Spiegelschicht (2) abgewandten Seite der Halbleiterschichtenfolge (4) eine Mikrostruktur (12) aufweist.
17. Strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 16,
dadurch gekennzeichnet, dass
- 30 die Halbleiterschichtenfolge (4) mindestens eine n- und/oder eine p-leitende Schicht (6,8) enthält..
18. Strahlungsemitierendes Halbleiterbauelement nach Anspruch 17,
35 dadurch gekennzeichnet, dass
die Dicke der n-leitenden und/oder der p-leitenden Schichten (6,8) im Bereich von einer Monolage bis 1000nm liegt, vor-

zugsweise kleiner als 400nm ist und besonders bevorzugt zwischen 150nm und 350nm liegt.

19. Strahlungemittierendes Halbleiterbauelement nach Anspruch

5 17 oder 18,

dadurch gekennzeichnet, dass die Stromaufweitungsschicht auf der Seite der p-leitenden Schicht der Halbleiterschichtenfolge ZnO und vorzugsweise Al enthält.

10

20. Strahlungemittierendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 17 bis 19,

dadurch gekennzeichnet, dass die Stromaufweitungsschicht auf der Seite der n-leitenden Schicht der Halbleiterschichtenfolge SnO und vorzugsweise Sb enthält.

15

21. Strahlungemittierendes Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 20 ,

20 dadurch gekennzeichnet, dass das strahlungemittierende Halbleiterbauelement auf einem Träger (1) befestigt ist.

22. Strahlungemittierendes Halbleiterbauelement nach Anspruch 21,

dadurch gekennzeichnet, dass der Träger (1) GaAs enthält.

23. Strahlungemittierendes Halbleiterbauelement nach Anspruch

30 21 oder 22 ,

dadurch gekennzeichnet, dass das strahlungemittierende Halbleiterbauelement mittels einer Lotmetallisierung (11) auf dem Träger befestigt ist, die vorzugsweise direkt an den Träger (1) angrenzt.

35

24. Strahlungemittierendes Halbleiterbauelement nach den Ansprüchen 11 und 23,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
die Lotmetallisierung (11) auf der Spiegelschicht (2) ange-
ordnet ist.

5 25. Strahlungemittierendes Halbleiterbauelement nach einem
der Ansprüche 1 bis 24,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
auf einer Stromaufweitungsschicht (10) eine Kontaktfläche
(13) zur elektrischen Kontaktierung angeordnet ist.

10

26. Strahlungemittierendes Halbleiterbauelement nach Anspruch
25,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
die Kontaktfläche (13) auf der dem Träger (1) gegenüberlie-
15 genden Seite der Halbleiterschichtenfolge (4) angeordnet ist.

27. Strahlungemittierendes Halbleiterbauelement nach Anspruch
25 oder 26,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die Kon-
20 taktfläche (13) auf der der Halbleiterschichtenfolge (4) zu-
gewandten Seite eine die erzeugte Strahlung reflektierende
Schicht besitzt.

28. Strahlungemittierendes Halbleiterbauelement nach einem
der Ansprüche 1 bis 24,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
mindestens eine der Stromaufweitungsschichten (3,10) eine
Ausnehmung (15) aufweist.

30 29. Strahlungemittierendes Halbleiterbauelement nach Anspruch
28,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
in der Ausnehmung (15) eine elektrisch leitende Kontaktfläche
(13) angeordnet ist.

35

30. Strahlungemittierendes Halbleiterbauelement nach Anspruch
29,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
die elektrische Kontaktierung des strahlungemittierenden
Halbleiterbauelements über die Kontaktfläche (13) erfolgt.

- 5 31. Strahlungemittierendes Halbleiterbauelement nach Anspruch
30,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
an der der Halbleiterschichtenfolge (4) zugewandten Seite der
Stromaufweitungsschicht (10) mit der Ausnehmung (15) und der
10 Kontaktfläche (13) eine Mantelschicht oder eine Mantelschich-
tenfolge (14) sitzt.

32. Strahlungemittierendes Halbleiterbauelement nach Anspruch
31,

15 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
die Mantelschicht oder die Mantelschichtenfolge (14) bezüg-
lich der Kontaktfläche (13) derart schlecht elektrisch lei-
tend ist, dass der Strom teilweise in die Stromaufweitungs-
schicht (10) gelangt.

20

33. Strahlungemittierendes Halbleiterbauelement nach einem
der Ansprüche 1 bis 32,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
die Halbleiterschichtenfolge (4) einen III-V-Halbleiter, vor-
zugsweise $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{P}$, mit $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ und $x+y \leq 1$, $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{N}$, mit $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ und $x+y \leq 1$, oder $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{As}$, mit
 $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ und $x+y \leq 1$, enthält.

34. Verfahren zur Herstellung eines strahlungemittierenden
30 Halbleiterbauelements mit einem Halbleiterkörper, umfassend
eine erste Hauptfläche (5), eine zweite Hauptfläche (9) und
eine Halbleiterschichtenfolge (4) mit einer elektromagneti-
sche Strahlung erzeugenden aktiven Zone (7), wobei die Halb-
leiterschichtenfolge (4) zwischen der ersten und der zweiten
35 Hauptfläche (5,9) angeordnet ist,
g e k e n n z e i c h n e t d u r c h die Schritte,

- Aufwachsen der Halbleiterschichtenfolge (4) auf einem Substrat (16);
- Aufbringen einer strahlungsdurchlässigen Stromaufweitungsschicht (3) auf die erste Hauptfläche (5);
- 5 - Ablösen des Substrats (16);
- Aufbringen einer strahlungsdurchlässigen Stromaufweitungsschicht (10) auf die zweite Hauptfläche (9);

35. Verfahren zur Herstellung eines strahlungsemitierenden Halbleiterbauelements nach Anspruch 34,
10 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass eine Spiegelschicht (2) auf die Stromaufweitungsschicht auf der ersten Hauptfläche (5) aufgebracht wird und der Halbleiterkörper vorzugsweise auf der Seite mit der Spiegelschicht
15 (2) auf einem Träger (1) befestigt wird.

36. Verfahren zur Herstellung eines strahlungsemitierenden Halbleiterbauelements nach Anspruch 34 oder 35,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
20 das Aufwachsen der Halbleiterschichtenfolge (4) epitaktisch erfolgt.

37. Verfahren zur Herstellung eines strahlungsemitierenden Halbleiterbauelements nach einem der Ansprüche 34 bis 36,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass
die Stromaufweitungsschichten (3,10) durch Sputtern aufgebracht werden.

38. Verfahren zur Herstellung eines strahlungsemitierenden Halbleiterbauelements nach einem der Ansprüche 35 bis 37,
30 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die Spiegelschicht (2) durch Sputtern oder Aufdampfen aufgebracht wird.

39. Verfahren zur Herstellung eines strahlungsemitierenden Halbleiterbauelements nach einem der Ansprüche 34 bis 38,
35 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass

vor dem Aufbringen der Stromaufweitungsschichten (3,10) eine Mikrostruktur (12) in oder auf mindestens eine der Hauptflächen (5,9) auf- oder eingebracht wird.

- 5 40. Verfahren zur Herstellung eines strahlungsemitierenden Halbleiterbauelements nach einem der Ansprüche 34 bis 39, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass zwischen mindestens einer Stromaufweitungsschicht (3,10) und der nächstliegenden Hauptfläche (5,9) eine Mantelschichten-
10 folge (14) aufgebracht ist und dass diese eine Ausnehmung (15) aufweist, in die die elektrische Kontaktfläche (13) eingebracht wird.

Zusammenfassung

Strahlungsemittierendes Halbleiterbauelement

- 5 Strahlungsemittierendes Halbleiterbauelement mit einem Halbleiterkörper, umfassend eine erste Hauptfläche (5), eine zweite Hauptfläche (9) und eine Halbleiterschichtenfolge (4) mit einer elektromagnetischen Strahlung erzeugenden aktiven Zone (7), wobei die Halbleiterschichtenfolge (4) zwischen der
- 10 ersten und der zweiten Hauptfläche (5,9) angeordnet ist, eine erste Stromaufweitungsschicht (3) auf der ersten Hauptfläche (5) angeordnet und mit der Halbleiterschichtenfolge (4) elektrisch leitend verbunden ist sowie eine zweite Stromaufweitungsschicht (10) auf der zweiten Hauptfläche (9) angeordnet
- 15 und mit der Halbleiterschichtenfolge (4) elektrisch leitend verbunden ist.

Figur 1:

2003, 0562

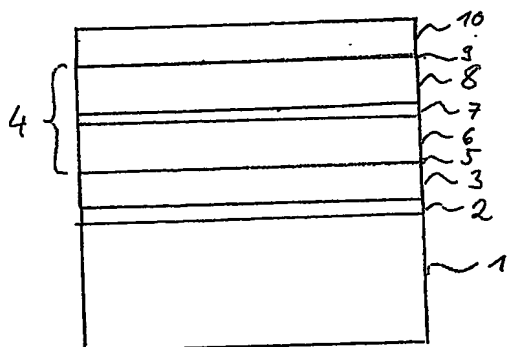


Fig. 1

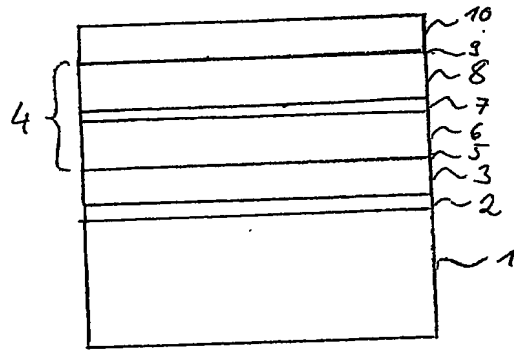


Fig. 1

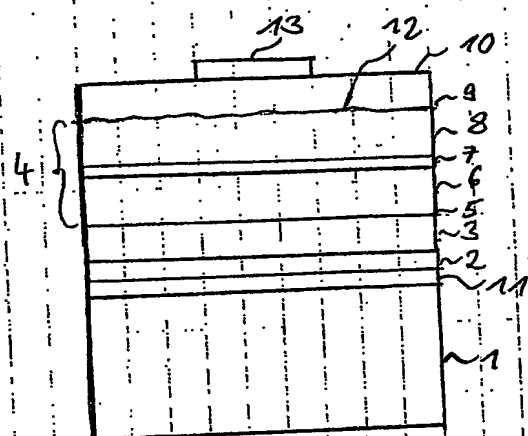


Fig. 2

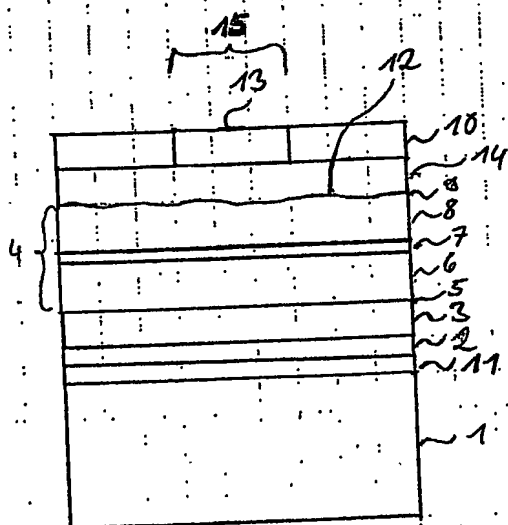


Fig. 3.

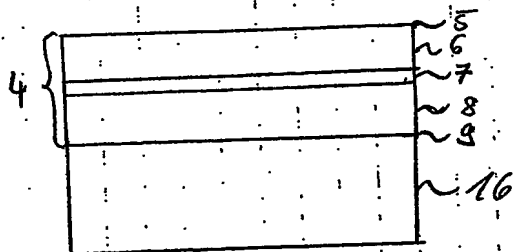


Fig. 4A

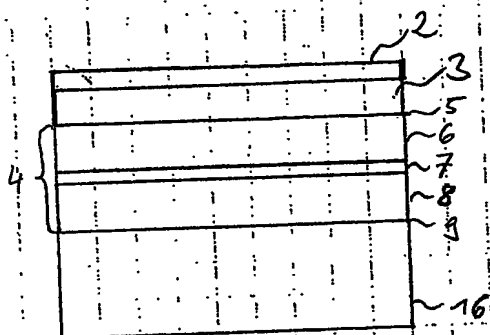


Fig. 4B

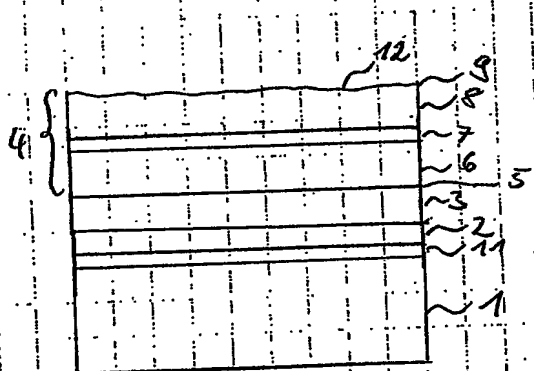


Fig. 4C

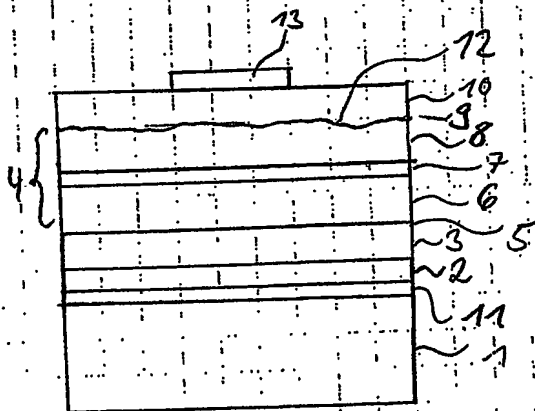


Fig. 4D

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.